

Рис. 2. Энергетический баланс промышленной площадки с учетом утилизации тепла

УДК 669.042

Ю. И. Сторожев, Л. Н. Подборский, А. А. Попиков

ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Россия

ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ АГРЕГАТ ДЛЯ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ

Аннотация

Представлены результаты расчета нагрева железорудных окатышей в смеси с бурым углем во вращающейся печи по методу термически «тонкой» пластины при заданном распределении температуры газа. Разработаны системы утилизации тепла отходящих из вращающейся печи дымовых газов для производства электроэнергии, вторичного тепла и подогрева железорудных окатышей. Выполнена оценка эффективности мероприятий по утилизации тепла дымовых газов вращающейся печи.

Ключевые слова: вращающаяся печь, металлизация, железорудные окатыши, бурый уголь, дымовые газы, утилизация тепла, электроэнергия, паровая турбина, низкокипящая жидкость.

Abstract

Results of heat calculations of iron-ore spherules mixed with brown coal in rotary furnace by method of “thin” plate and by known distribution of gas temperature are represented. Systems of heat utilization of waste gases from rotary furnace for production of electrical energy, second heat and heating of iron-ore spherules are elaborated. Estimation of measures effectiveness of heat utilization of rotary furnace gases is fulfilled.

Keywords: rotary furnace, metallization, iron-ore spherules, brown coal, waste gases, heat utilization, electrical energy, steam turbine, low boil liquid.

В настоящее время реальной альтернативой доменному процессу являются процессы прямого восстановления железа. Они предполагают, в частности, получение металлического железа из железорудных окатышей. В основе способа прямого восстановления железа из оксидов лежит твердофазное восстановление без появления расплава [1; 2].

Поиск новых способов получения металлического железа из железорудных материалов вызван постоянным удорожанием традиционных видов сырья для черной металлургии, а также возросшим интересом к металлизированному сырью на основе окисленных окатышей высокого качества при производстве стали. Одним из реализованных способов получения металлизированного сырья в промышленном масштабе в Восточной Сибири является металлизация железорудных окатышей в трубчатой вращающейся печи Ф3,6х75 м с использованием в качестве топлива и восстановителя бурого угля [3]. Расчет нагрева окатышей в процессе металлизации выполнен по методу термически «тонкой» пластины [4]. Результаты расчетов материального и теплового балансов представлены в табл. 1, 2. Балансы выполнены на производительность по металлизированным окатышам 12,1 т/ч, что соответствует проектной производительности 106 тыс. т/год.

Таблица 1

Статьи прихода и расхода материального баланса

Статьи прихода	кг/ч	%	Статьи расхода	кг/ч	%
Уголь	18 290,0	13,93	Шихта	13 930,0	10,64
Окатыши	18 620,0	14,18	Газ из холодной головки	114162,7	86,91
Известняк	504,6	0,38	Пылеунос	3226,0	2,45
Воздух	93904,1	71,51			
Итого:	131318,7	100,0	Итого:	131318,7	100,0

Расход тепла на тонну металлизированной шихты составил 21 ГДж/т, что сопоставимо с общими затратами тепла на процесс металлизации по данным [2]. В зависимости от загрузки вращающейся печи объем уходящих газов достигал 70-85 тыс. нм³/ч. Тепловой потенциал уходящих дымовых газов в расходной части теплового баланса составил около 27 %, в связи с чем актуален вопрос его утилизации. С этой целью разработан энерготехнологический аг-

регат для металлизации железорудных окатышей во вращающейся печи.

Энерготехнологический агрегат для металлизации железорудных окатышей во вращающейся печи предполагает также выработку электрической энергии в процессе металлизации железорудных окатышей твердым восстановителем и вторичного тепла. В установку введены следующие системы, отличающие ее от известного процесса [3]:

- система утилизации тепла дымовых газов вращающейся печи для производства электроэнергии с использованием паровой турбины;
- система утилизации отработанного пара турбины для выработки вторичного тепла в отопительный период;
- система утилизации отработанного пара турбины для производства электроэнергии в контуре с низкокипящим теплоносителем;
- система использования тепла дымовых газов котла-утилизатора для подогрева железорудных окатышей на конвейерной решетке.

Таблица 2

Статьи прихода и расхода теплового баланса

Статьи прихода	кДж/ч	%	Статьи расхода	кДж/ч	%
Тепло топлива:			Тепло на восстановление окатышей	39851805	13,78
а) химическое	286410060	99,09	Тепло на нагрев шихты	77206500	26,71
б) физическое	704538	0,24	Теплосодержание уходящих газов	77053002	26,65
Физическое тепло железорудных окатышей	37421	0,01	Теплосодержание угля, выходящего из печи	30418974	10,53
Теплосодержание воздуха	1887247	0,66	Теплосодержание уноса	52259597	18,10
			Потери тепла в окружающую среду	12249389	4,23
Итого:	289039267	100,0	Итого:	289039267	100,0

Схема энерготехнологического агрегата для металлизации железорудных окатышей во вращающейся печи представлена на рис. 1.

Предварительно подогретые железорудные окатыши вместе с углем-восстановителем подаются в печь через загрузочную головку. Под действием силы тяжести и непрерывного вращения печи под углом 3° окатыши вместе с углем-восстановителем направляются к разгрузочной головке печи, в которую вдувается измельченное топливо для защиты окатышей от вторичного окисления. Горячие дымовые газы в противотоке направляются к загрузочной головке.

Высокая температура горения угля поддерживается фурмами для нагнетания воздуха, расположенными по длине печи. В результате на выходе из печи выгружается готовый металлизированный продукт со степенью металлизации до 90 %, а из загрузочной головки удаля-

ются дымовые газы с температурой до 650 °С. Температура материала достигала 1050–1080 °С (рис. 2).

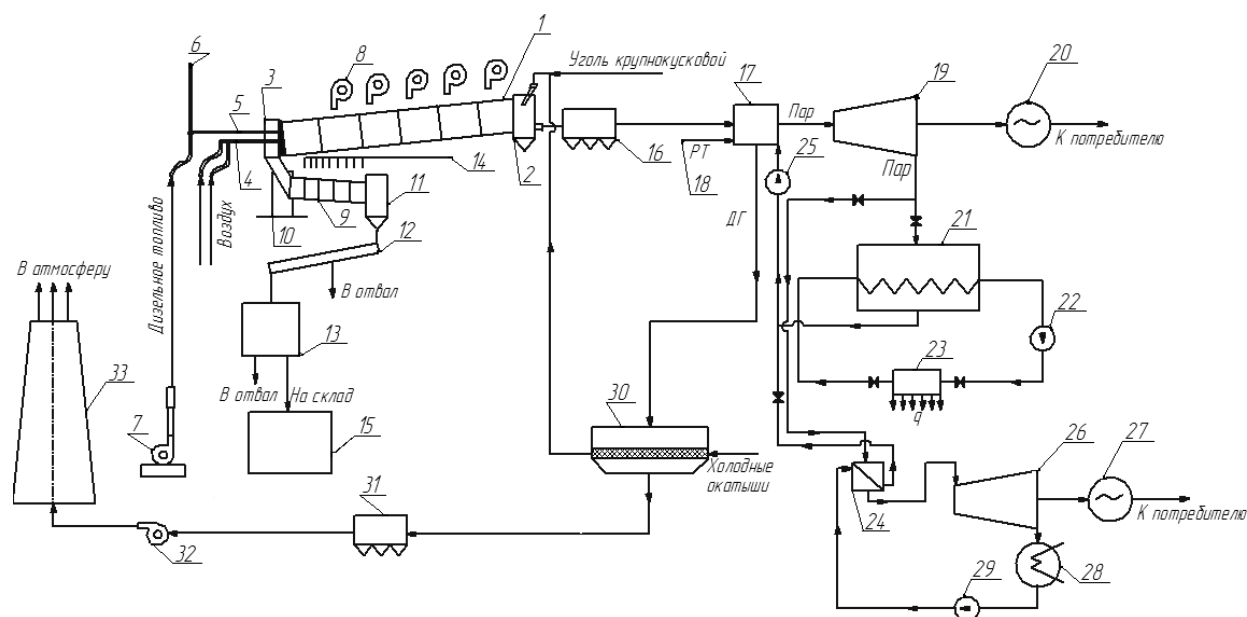


Рис. 1. Энерготехнологический агрегат для металлизации железорудных окатышей во вращающейся печи:

- 1 – вращающаяся печь; 2 – загрузочная головка печи; 3 – разгрузочная головка печи; 4 – жидкотопливная форсунка; 5 – пневматическая пушка; 6 – система подачи измельченного бурого угля; 7 – система сжатого воздуха; 8 – фурмы для нагнетания воздуха в печь; 9 – вращающийся барабанный холодильник; 10 – загрузочная головка барабанного холодильника; 11 – разгрузочная головка барабанного холодильника; 12 – система грохочения; 13 – магнитный сепаратор; 14 – душевые устройства с системой оборотного водоснабжения; 15 – склад; 16 – золоуловитель; 17 – котел-утилизатор с камерой дожигания; 18 – подача резервного топлива; 19 – турбина; 20 – электрогенератор; 21 – конденсатор-теплообменник; 22 – насос; 23 – теплопотребляющая установка; 24 – испаритель низкокипящей жидкости; 25 – насос; 26 – турбина низкокипящей жидкости; 27 – электрогенератор; 28 – конденсатор низкокипящей жидкости; 29 – насос; 30 – конвейерная решетка; 31 – золоуловитель; 32 – дымосос; 33 – дымовая труба; ДГ – дымовые газы; РТ – резервное топливо; q – теплопотребление потребителем.

Дымовые газы от трубчатой вращающейся печи направляются в котел-утилизатор с камерой дожигания, где образуется перегретый водяной пар. Пар подается в паровую турбину первичного контура с теплофикационным противодавлением, где создает крутящий момент, передаваемый электрогенератору. В отопительный период отработавший в турбине водяной пар направляется в сетевой подогреватель, где отдает скрытую теплоту парообразования теплофикационной воде. Конденсат водяного пара поступает обратно в котел-утилизатор, замыкая первичный контур. Нагретая в подогревателе теплофикационная вода используется для отопления объектов предприятия.

Недостатком варианта утилизации тепла с помощью одних паровых турбин с противодавлением является то, что они могут работать только в отопительный период при наличии тепловой нагрузки. В неотапливаемый период (летом) турбина не сможет работать, следовательно, не сможет работать и вся схема утилизации тепла трубчатой печи. В результате среднегодовое значение коэффициента использования установленной мощности не превысит 50 %. Для устранения этого недостатка в предлагаемой схеме используется вторичный низкокипящий контур, который может работать на фреоне, аммиаке, пентане, бутане и других низкокипящих жидкостях. К выхлопу противодавленческой турбины дополнительно подключается контур, включающий испаритель низкокипящей жидкости и турбину, работающую на образовавшемся паре.

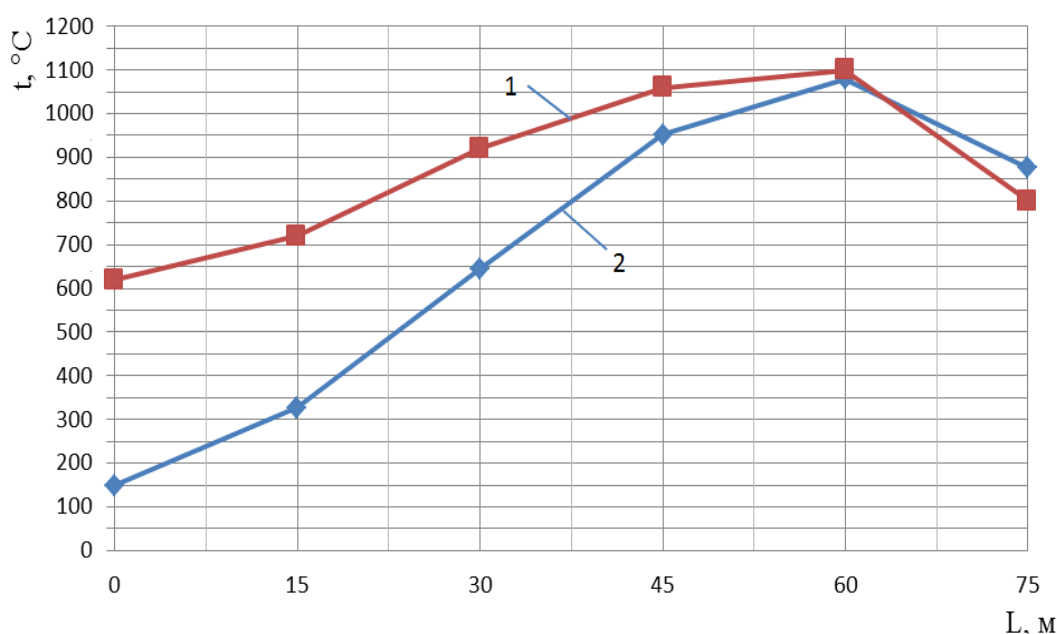


Рис. 2. График распределения температур газа (1) и материала (2) по длине печи

В отопительный период паровая турбина с противодавлением работает на сетевой подогреватель, вырабатывая номинальную электрическую мощность плюс тепловую мощность, отдаваемую теплофикационной воде в подогревателе. В летний период, при отсутствии отопительной нагрузки, сетевой подогреватель отключается и отработавший водяной пар направляется в испаритель низкокипящей жидкости вторичного контура. В испарителе образуется перегретый пар, который поступает в турбину вторичного контура, вырабатывая дополнительную электроэнергию. Отработавший в турбине пар, пройдя через конденсатор, возвращается в испаритель, замыкая вторичный контур. В результате зимой турбина с противодавлением вырабатывает свою номинальную электрическую мощность плюс тепловую мощность на отопление объектов предприятия, а летом суммарная электрическая мощность установки возрастает на величину мощности второй турбины.

Для бесперебойной выработки электроэнергии в случаях незапланированных технологических остановов печи для дожигания смолистых веществ и для поддержания неизменным объема утилизируемых дымовых газов предусмотрена подача в камеру дожигания котла-утилизатора резервного топлива. Утилизация теплоты дымовых газов вращающейся печи в схеме энерготехнологического агрегата позволяет повысить эффективность использования

твердого топлива в установке металлизации железорудных материалов.

Поскольку объемы низкокипящего пара во много раз меньше объемов водяного пара, турбины низкокипящего контура при равной мощности имеют небольшие габариты. Они не требуют мощных фундаментов, систем маслоснабжения, водоснабжения, габаритного вспомогательного оборудования и могут монтироваться прямо на нулевой отметке цеха металлизации. Проектирование и производство таких турбин освоено, первые образцы уже работают на некоторых объектах [5]. Это в немалой степени относится и к подключаемым противодавленческим паровым турбинам, т. к. они имеют несколько ступеней с небольшими диаметрами. В качестве сетевых подогревателей можно использовать малогабаритные теплообменники пластинчатого типа.

В котле-утилизаторе дымовые газы проходят через пароперегреватель, испарительные секции и экономайзер. Расчеты, выполненные по методике [6], показали, что температура дымовых газов на выходе из пароперегревателя составляет 620 °С, на выходе из испарительных секций – 350 °С, на выходе из экономайзера – 302 °С.

Паропроизводительность котла по расчетам составляет 15 т/ч. Мощность паровой турбины достигает 0,95 МВт, а мощность турбины низкокипящей жидкости – 0,88 МВт. Расчетная выработка электрической энергии в контуре паровой турбины составляет 8 млн. кВт·ч в год, а в контуре турбины низкокипящей жидкости – 3,5 млн. кВт·ч в год. Выработка тепловой энергии в теплофикационном контуре в отопительный период составляет 30960 Гкал.

Анализ коммерческой эффективности проекта показал, что при указанной выработке электроэнергии и тепла проект является доходным, инвестор получит 5,34 инвестиций с одной вложенной, имеет малый срок окупаемости – 1,32 года и высокий резерв безопасности – 78,22 % при сроке полезного использования 10 лет.

Список использованных источников

1. Князев В. Ф. Гиммельфарб А. И., Неменов А. М. Бескоксовая металлургия железа. – М.: Металлургия, 1972. – 272 с.
2. Тулин Н. А., Кудрявцев В. С., Пчелкин С. А. [и др.]. Развитие бескоксовой металлургии. – М.: Металлургия, 1987. – 327 с.
3. Патент на полезную модель № 77866 РФ. Установка для производства губчатого железа / О. С. Доев, В. Е. Черных, А. Е. Черных. ЗАО «Сибирская металлургическая компания». Заявл. 12.05.2008. Оpubл. 10.11.2008. Бюл. № 13.
4. Телегин А. С., Китаев Б. И., Швыдкий В. С., Сторожев Ю. И., Казанцева Н. М. Расчет нагрева окатышей в процессе металлизации // Известия Академии наук СССР. Металлы. – 1971. – № 6. – С. 3–6.
5. Гринман М. И., Фомин В. А. Перспективы применения энергетических установок малой мощности с низкокипящими рабочими телами // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». – 2006. – № 2.
6. Мастрюков Б. С. Теория, конструкции и расчеты металлургических печей. Т.2. – М.: Металлургия, 1978. – 272 с.